

ЭПТ 2015



ACED 2015

УДК 621.314-83:378.14

6.7. ПРИМЕНЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СТЕНДОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Брейдо Иосиф Вульфович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизации производственных процессов» Карагандинского государственного технического университета, Казахстан, 100027, г. Караганда, Бульвар Мира, 56. e-mail: jbreydo@kstu.kz Тел.: +7(7212)565184.
Гурушкин Артем Владимирович, к.т.н., доцент каф. «Электропривода и автоматизации технических систем» Карагандинского государственного индустриального университета, Казахстан, 101400, г. Темиртау, пр. Республики, 30. e-mail: gurushkinartem@rambler.ru Тел.: +7(705)7057534.

Аннотация: Представлена информация о применении исследовательских стендов в процессе проектирования и наладки электромеханических систем с многодвигательным частотно – управляемым электроприводом.

Ключевые слова: электромеханические многодвигательные системы, частотный привод, исследовательский стенд, схема замещения, параметры двигателя, имитационная модель, механическая характеристика.

Большинство производственных агрегатов и механизмов горно-металлургической отрасли являются механически взаимосвязанными многодвигательными системами электропривода. К ним следует отнести такие механизмы, как электроприводы станов холодной и горячей прокатки, черновых и чистовых клетей, агрегаты обработки горячекатаной или холоднокатаной полосы, агрегаты непрерывного травления, непрерывного горячего цинкования, электролитического лужения, поперечной резки, подготовки и перемотки полосы, струговые установки, скребковые и ленточные конвейеры, канатные дороги, грузоподъемные механизмы и т.п.

При всех известных достоинствах таких, как уменьшение момента инерции и увеличение быстродействия, существенным недостатком этих систем при одинаковой скорости вращения является не идентичность механических характеристик электродвигателей даже одного типа, что приводит к неравномерности распределения нагрузок между двигателями в статических и динамических режимах работы.

В свою очередь несогласованная работа приводов в единой электромеханической системе становится причиной перегрузки электродвигателей с более жесткой механической характеристикой и приводит к дополнительным нагрузкам колебательного характера, которые увеличивают износ передач, вызывают вибрацию и затрудняют достижение

требуемой точности работы механизма. Данный эффект объясняется разбросом жесткостей механических характеристик в пределах допуска, регламентированного техническими условиями на выпускаемые промышленностью асинхронные электродвигатели, поэтому неизбежны различия в параметрах электромагнитных и механических систем, а значит и в механических характеристиках изготавливаемых электрических машин.

Нужно отметить, что в рамках классической теории электропривода указанные недостатки хорошо известны, соответственно, предложены методы и способы борьбы с процессами дисбаланса нагрузок между приводами многодвигательных механизмов (введение дополнительных сопротивлений в обмотки, последовательные подключения якорных обмоток и обмоток возбуждения и т.д.) [1]. Но с массовым внедрением в производство частотно – регулируемого электропривода картина теоретического обоснования процессов формирования дисбаланса моментов между приводами механически взаимосвязанного многодвигательного электропривода, работающего на общую нагрузку, кардинально поменялась. Наличие микропроцессорных систем управления, обратных связей по скорости, току, моменту и т.д. меняют детально рассмотренные теорией электропривода законы. В статических и динамических режимах работы уже не наблюдаются четкие принципы в распределении нагрузки между приводами в зависимости от коэффициентов

жесткости электрических машин, как это принято в классическом электроприводе.

$$\omega_1 = \omega_2 - \omega, \quad (1)$$

$$M = M_1 + M_2 = \beta_1(\omega_{01} - \omega) + \beta_2(\omega_{02} - \omega), \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\beta_1\omega_{01} + \beta_2 + \omega_{02}}{\beta_1 + \beta_2} - \frac{M}{\beta_1 + \beta_2}, \quad (3)$$

где ω – результирующая скорость вращения, рад/с;

ω_1, ω_2 – угловая скорость вращения, рад/с;

M, M_1, M_2 – общий момент и моменты электродвигателей, Н*м;

β_1, β_2 – жесткости механических характеристик, Н*м*с;

Исследования показывают, что решающее значение в процессе рассогласования моментов нагрузки между приводами единой системы играют электромеханические параметры в переходных процессах [2]. Например, не идентичные значения токов намагничивания, напряжений, различных характеристик разгона ведут к не синхронному началу движения валов электродвигателей в момент старта и, как следствие, к формированию отличных друг от друга значений ускорения и электромагнитных моментов. Также большое значение имеет наличие зазорообразования, которое является причиной ударных нагрузок в момент старта, особенно это ярко проявляется в системах с жесткими требованиями к динамике. Необходимо отметить, что резкие возмущающие воздействия и удары могут вывести систему из равновесия и повлиять на распределение моментов нагрузки или даже перевести один из приводов в тормозной (генераторный) режим работы.

Таким образом, широкое внедрение частотно – регулируемого электропривода в настоящее время не решает рассматриваемую проблему, а во многом ее усугубляет. Например, наличие обратных связей играет роль своеобразного усилителя влияния даже незначительных дефектов на работу электромеханической системы, что в свою очередь оказывает влияние на систему управления, ухудшая качество и точность процесса регулирования. При этом растут нагрузки и износ для механической составляющей, и, как следствие, из незначительного дефекта формируется уже серьезная неисправность, воздействие которой также усиливается обратной связью. Для решения описанной проблемы производителями частотно – регулируемых приводов предлагаются решения, связанные с введением дополнительных коэффициентов по скорости при настройке системы управления преобразователей. Как правило, такое решение применяется для преимущественно статических режимов работы с применением скалярных систем управления [3]. В случае, если технологический

процесс требует частой смены статических и динамических режимов с высокой точностью поддержания регулируемой выходной величины, то применяют метод выравнивания моментов нагрузки «master – slave», где один из приводов настраивается, как ведущий или «master» с векторной системой управления по скорости, а другой – в роли ведомого или «slave» с векторной системой управления по моменту. При этом оба привода связаны между собой информационно, и ведущий передает ведомому значение действующего момента, которое ведомый привод с высокой точностью старается поддерживать на заданном уровне. Недостатком рассмотренной схемы является значительная чувствительность к дефектам механики, например, к зазорообразованию и обрыву механической связи у ведущего привода.

Таким образом, применение современных систем автоматизированного электропривода не дает гарантий получения высоких показателей качества регулирования, т.к. технические данные механизма определяются не только техническими возможностями электропривода, но и степенью влияния электрической и механической частей друг на друга. В ряде случаев работоспособность машин, спроектированных без учета влияния механизма на электропривод, в реальных условиях эксплуатации оказывается ограниченной. В процессе проектирования системы управления или в ходе пусконаладочных работ может возникнуть необходимость определения ряда электромеханических параметров с целью выбора и наладки системы выравнивания нагрузок в многодвигательном электроприводе агрегата или механизма. Но в большинстве случаев проведение тестов и экспериментов на реальном объекте в процесс наладки опасно, а порой и невозможно, исходя из требований производства и техники безопасности. Особенно это касается крупных многодвигательных механизмов, производство которых является индивидуальным или мелкосерийным.

Учитывая вышеизложенное, проектирование и наладку электромеханических многодвигательных систем целесообразно производить комбинированными способами, сущность которых заключается в сочетании современных методов имитационного моделирования и результатов экспериментов, полученных на исследовательских стендах [4]. При этом, в процессе исследований на стендах в типовых режимах могут быть определены параметры электромеханических систем, которые получить расчетным путем практически невозможно: упругости механических связей, фактические жесткости механических характеристик и т.д. Установленные с помощью экспериментов параметры используются в моделях. Имитационные эксперименты на моделях проводятся в аналогичных типовых режимах. Тогда, при условии сходимости

результатов имитационных экспериментов с результатами, полученными в ходе испытаний, модель можно считать адекватной объекту, и дальнейшие исследования, в том числе и в нештатных предаварийных и аварийных режимах, проводить на модели.

Описанные принципы были реализованы на практике при модернизации и наладке литейных кранов грузоподъёмностью 420 тонн в конвертерном цехе АО «АрселорМиттал Темиртау». Экспериментальные исследования выполнялась на испытательном стенде, собранном на базе отделения непрерывной разливки стали (ОНРС) конвертерного цеха «АрселорМиттал Темиртау» [5]. Ниже дано описание и рассмотрены технические возможности данного стенда.

В соответствии с рисунками 1 и 2 механическая часть исследовательского стенда состоит из двух испытуемых короткозамкнутых асинхронных электродвигателей АИР100S4У2 мощностью по 3кВт каждый и нагрузочного асинхронного электродвигателя мощностью 11кВт. Все электрические машины связаны между собой механически с помощью зубчатых колес, имитирующих редукторную систему литейного крана.

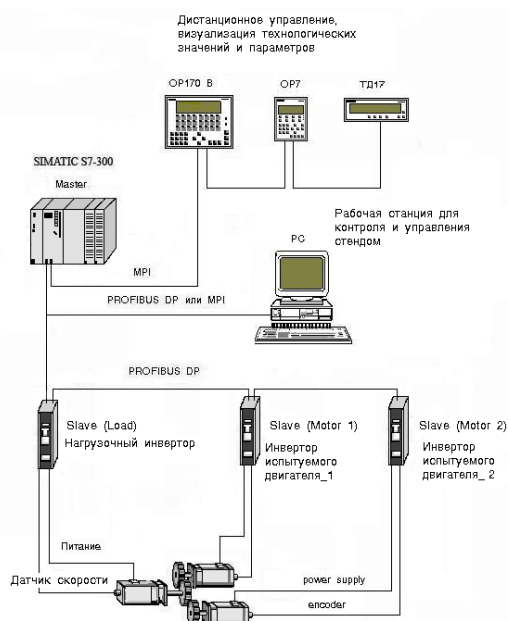


Рис. 1. Структурная схема испытательного стенда

Для имитации аварийных режимов обрыва механической связи в конструкции механической передачи предусмотрена скользящая посадка зубчатых колес на валу испытуемых электрических машин. Таким образом, механическая часть стенда позволяет просто и быстро устанавливать разные виды механических передач, муфт, имитировать дефекты, например,

увеличение зазора между зубьями или люфты. Стенд имеет гибкую конфигурацию, а все элементы, легко заменяются или перенастраиваются при необходимости.



Рис. 2. Электромеханическая система стенда

В соответствии с рисунком 3 в качестве частотно – регулируемого электропривода были применены преобразователи частоты фирмы Siemens SIMOVERT MASTERDRIVE VC с векторной системой управления.

Реализация алгоритмов управления стендом осуществляется программируемым логическим контроллером фирмы SIEMENS серии SIMATIC S7-300 с модулями дискретных входов и выходов для связи с приборами коммутации и управления. Передача данных с преобразователями и средствами визуализации (HMI панелей) организована по средствам сети PROFIBUS. Более подробно конструкция и возможности стенда описаны в [6].

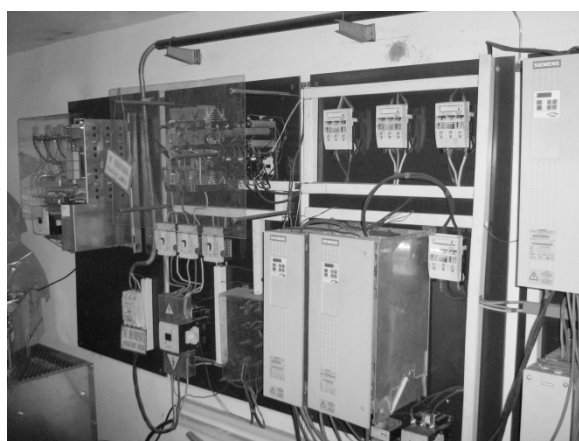


Рис.3. Частотные преобразователи SIMOVERT MASTERDRIVE VC

Нужно отметить, что современные преобразователи частоты предусматривают автоматическое определение параметров подключаемого к нему оборудования. Служебная программа преобразователя пересчитывает на основе

введенных паспортных данных двигателя его номинальные значения и проводит ряд тестов, измеряя реальные активные и индуктивные сопротивления, токи, магнитные потоки рассеивания, температурные коэффициенты, постоянные времени и т.д., а также тестирует двигатель в динамике, настраивая регуляторы и уточняя ввод данных. Кроме этого, в преобразователях частоты заложен алгоритм расчета и построения Т - и Г - образных схем замещения подключаемого электродвигателя, что позволяет параметры схемы замещения использовать для построения имитационных моделей с использованием программных пакетов таких как SIMULINK. Благодаря указанным техническим возможностям возможно в ходе проведения экспериментов осуществлять мониторинг в on-line режиме и сохранять полученные результаты в графическом и цифровом форматах практически по всем основным параметрам для однодвигательного и двухдвигательного варианта электропривода с общей механической связью.

Продолжением развития данного направления стала разработка научно – исследовательского комплекса на базе Карагандинского государственного индустриального университета. Особенностью данного стенда является наличие в его структуре практически всех уровней автоматизации, взаимная интеграция этих уровней, как на аппаратном, так и программном уровне. В отличие от предыдущей версии стенда для визуализации и управления широко были использованы возможности SCADA систем WinCC и WinCCflexible, что позволило вынести управление комплексом из лаборатории и сделать его дистанционным, т.е. во время проведения экспериментов в помещении не требуется нахождение людей. Данное решение позволяет проводить безопасные эксперименты с аварийными и критическими режимами работы.

Оснащение лаборатории приборами тепловизионного контроля и анализа виброактивности вращающегося оборудования позволило значительно расширить возможности по моделированию и мониторингу дефектов механической системы. Возможности исследовательского комплекса, как и в предыдущем варианте, позволяют проведение работ по определению статических, динамических, энергетических характеристик частотного электропривода с различными структурами и параметрами систем управления, а также решать вопросы наладки приводов, имеющих упругие связи и зазоры. В случаях, при отсутствии адекватной модели, например, таких сложных систем, как многодвигательный частотный привод главного подъема литейных кранов, стенд позволяет обеспечить в полном объеме моделирование этого объекта и рабочего процесса, в котором он задействован. Он может быть использован в

качестве контрольно-испытательной станции для дефектовки и проверки частотных преобразователей и асинхронных электродвигателей. На этом стенде проводится комплексное обучение, и выполняются лабораторные работы студентов по специальностям «Автоматизация и управление» и «Электроэнергетика».



Рис. 4. Исследовательский стенд в КТИУ

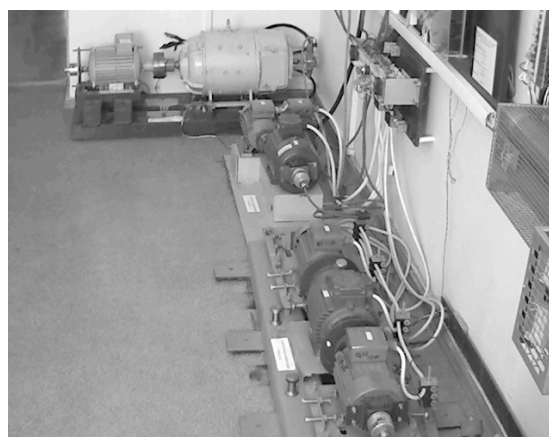


Рис. 5. Электромеханическая часть стенда

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 2001г.- 704с.
2. Брейдо И.В. Гурушкин А.В. Исследование принципов распределения нагрузок в электромеханических системах с многодвигательным частотно управляемым электроприводом. М.: Приводная техника №3, 2009.
3. SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control Compendium Edition: AE.
4. Брейдо И.В. Гурушкин А.В. Комбинированные методы проектирования и наладки двухдвигательного частотно – управляемого асинхронного электропривода. М.: Приводная техника №2, 2009.
5. Брейдо И.В. Гурушкин А.В. Разработка систем выравнивания нагрузок для многодвигательного частотно – управляемого электропривода механизма главного подъема литейных кранов металлургического производства. М.: Приводная техника №6, 2009.
6. Брейдо И.В. Гурушкин А.В. Испытательный лабораторный стенд для исследований, испытаний и наладки частотно – управляемого асинхронного электропривода. М.: Приводная техника №6, 2008.